

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ГИДРОТУРБИН

Давыдов К.И., Елистратов В.В.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

davydov_konstant@mail.ru

При проектировании новых более экономичных, долговечных, высокоэффективных гидротурбин возникает много вопросов, связанных с определением влияния геометрических соотношений элементов проточной части на энергетические и кавитационные характеристики в заданных режимах. Для решения этих вопросов требуется не только систематическое проведение глубоких и всесторонних теоретических исследований, но и вместе с этим экспериментальные исследования.

На данный момент существует множество методик и программных пакетов для расчета проточной части и рабочего колеса гидротурбинного блока. Однако только на основании проведенных испытаний модельных блоков определяются энергетические, кавитационные, силовые, разгонные и другие характеристики турбины, подтверждаются гарантии по КПД и мощности. Также в ходе испытаний выявляются особенности работы гидротурбины на режимах, трудно поддающихся расчету (переходные режимы; режим синхронного компенсатора; разгонный режим и другие).

Экспериментальные стенды можно разделить на несколько категорий, исходя из условий моделирования проточной части. Одни установки не обязательно полностью моделируют проточный тракт натурной турбины, что при соблюдении определенных условий допустимо (диаметр рабочего колеса 250-300 мм, энергетические испытания проводятся при напоре 2-3 м, а кавитационные 12-15 м). Ко второй категории относят стенды, обеспечивающие условия движения жидкости в проточном тракте, включая входной и выходной участки, близкие к натуре (диаметр рабочего колеса модели 350-500 мм). И к последней относят стенды, позволяющие выдержать критерии подобия, наиболее характерные для гидродинамических явлений, определяющих ту или иную характеристику турбины.

Одна из первых лабораторий для исследования проточной части, экспериментального изучения энергетических, разгонных, пульсационных и других характеристик гидротурбины была организована в Ленинградском политехническом институте, сейчас Санкт-Петербургский политехнический университет, при кафедре гидравлических машин. Она является одной из первых гидротурбинных лабораторий в стране. Экспериментальный стенд представляет собой смоделированный с учетом основных критериев подобия водопроводящий тракт блока гидроэнергетической установки с горизонтальным капсульным агрегатом. На данном стенде испытывались модельные установки с рабочими колесами насоса ОП-6-35 и турбины ПЛ-984-35.

Диаметр рабочего колеса исследованного блока ГЭС на стенде равен $D_1 = 350$ мм, что отвечает требованиям Международной электротехнической комиссии на проведение исследований гидромашин [1] количественных характеристик работы агрегатного блока.

Стенд позволяет проводить комплексные исследования блоков ГЭС,

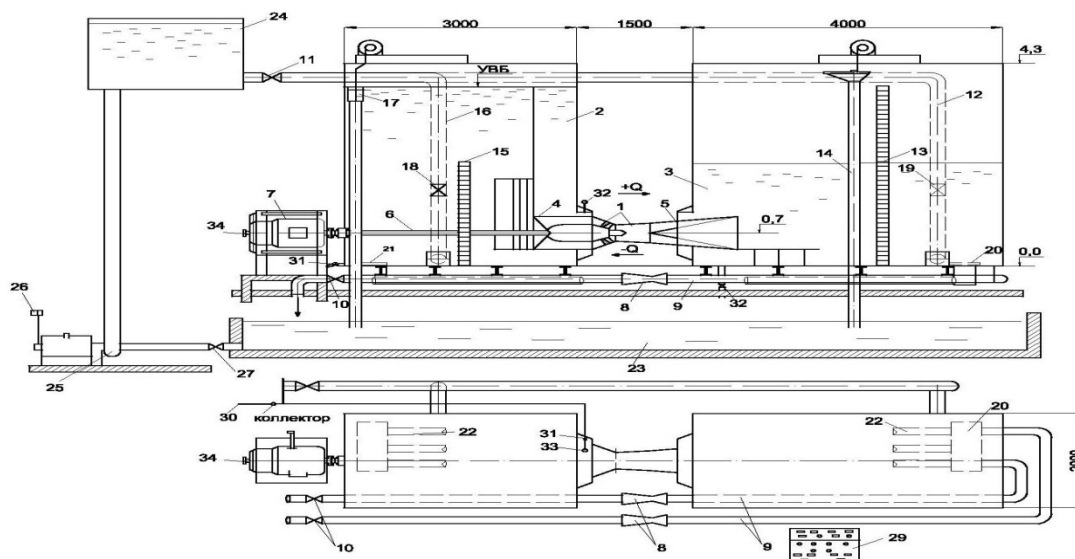
ГАЭС и НС с горизонтальным капсульным агрегатом, включая энергетические, гидравлические и гидродинамические исследования в следующих режимах работы:

- прямом турбинном;
- обратном турбинном;
- прямом насосном;
- обратном насосном.

Экспериментальный стенд включает в себя напорный водосберегательный бак, подводящие трубопроводы, баки нижнего и верхнего бьефов, модельную установку, пульт управления и отводящие напорные трубопроводы (рисунок).

При проведении энергетических испытаний исследуемого модельного блока ГАЭС с горизонтальным капсульным агрегатом в обратимых режимах основными измеряемыми параметрами работы являются:

- расход воды, Q (л/с);
- уровень верхнего УВБ и нижнего УНБ бьефов (мм вод. ст.);
- частота вращения вала агрегата, n (об./мин.);
- момент на валу, M (кг/м);
- угол установки лопаток направляющего аппарата, β_0 ;
- угол установки лопастей рабочего колеса, φ .



Общая схема стенда:

1 – модельный агрегат; 2 и 3 – баки верхнего и нижнего бьефов; 4 – закрытая подводящая труба; 5 – отводящая труба; 6 – вал агрегата; 7 – электродвигатель; 8 – расходомер; 9 – отводящий трубопровод; 10, 11, 18, 19 – задвижки; 12, 16 – подводящие трубопроводы верхнего и нижнего бьефов; 13, 15 – успокоительные решетки; 14, 17 – телескопические водосбросы; 20, 21 – водоприемники НБ и ВБ; 22 – перепускные трубы; 23 – водосберегательный бассейн; 24 – распределительный бак; 25 – питающий насос; 26 – кнопка запуска насоса; 27 – входная задвижка; 28 – кнопка управления задвижкой; 29 – пульт управления; 30, 31 – краны; 32 – манометр, 34 – датчик оборотов; +Q – турбинный режим; -Q – насосный режим;

Методика энергетических исследований модели блока ГАЭС с горизон-

тальным капсульным агрегатом в обратимых режимах работы опирается на накопленный опыт и рекомендации по модельным исследованиям турбин [1-3], обратимых гидромашин и осевых насосов [4-6].

Энергетические испытания поворотнолопастных турбин проводятся (за исключением отдельных специальных случаев) при разных соотношениях между открытием направляющего аппарата и положением лопастей рабочего колеса. При этом следует помнить, что в переходных процессах регулирования турбины работают при положениях направляющего аппарата и лопастей рабочего колеса, далеких от оптимального. Поэтому испытания модели на таких режимах представляют определенный интерес.

Процесс испытаний поворотнолопастных турбин сводится к определению характеристик модели на ряде пропеллерных режимов, при которых лопасти рабочего колеса закреплены в каком-либо определенном положении. Дополнительно в процессе подготовки к испытаниям нужно проверить идентичность установки всех лопастей рабочего колеса турбины. На малых углах установки лопастей рабочего колеса достаточно 6-8 открытий направляющего аппарата, а на больших 12-14. Закончив испытания при данном положении лопастей, устанавливают их на другой угол и продолжают испытания в том же порядке.

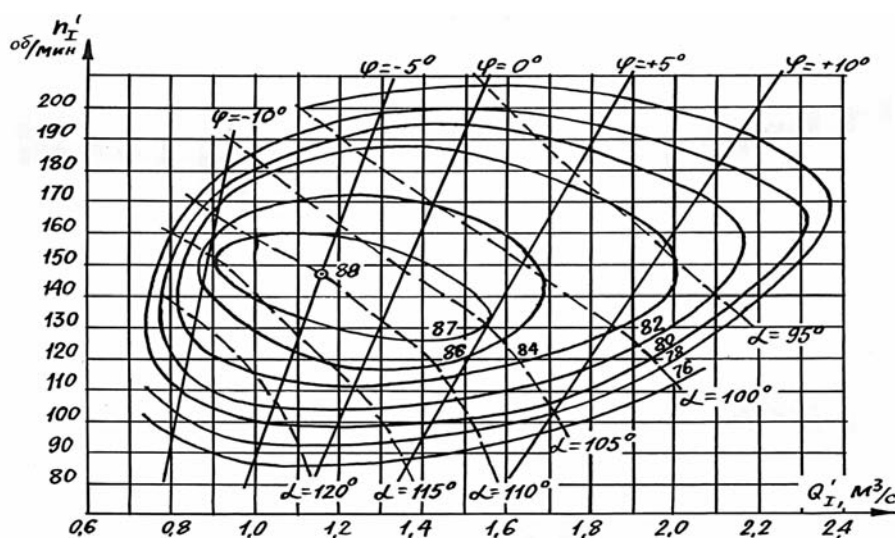
Испытания заканчиваются после того, как они проведены при всех намеченных к испытаниям положениях лопастей рабочего колеса. Рекомендуется при испытаниях положения лопастей изменять не по порядку, а в разнорядной, так как при этом легче выявить случайные ошибки [2]. Кроме того, рекомендуется в конце испытаний повторить испытания при положении лопастей, которое было в начале испытаний хотя бы на некоторых оптимальных режимах. Такое повторение испытаний обеспечивает их надежность.

По результатам энергогидравлических исследований строятся рабочие характеристики модели блока ГЭС в координатах $\eta = f(Q'_I)$ и $n'_I = f(Q'_I)$, универсальная характеристика турбины $\eta = f(n'_I, Q'_I)$ при $\varphi = \text{const}$ и $b_0 = \text{const}$.

Выводы. Проведение энергетических исследований является обязательным этапом при разработке и проектировании новых гидротурбин. Результатом испытаний являются энергетические, кавитационные, силовые и разгонные характеристики данной гидротурбины.

На основе анализа результатов проведенных ранее экспериментов была разработана методика проведения энергетических испытаний горизонтально-капсульных агрегатов на экспериментальном стенде СПбГПУ.

Анализ проведенных ранее энергетических исследований на экспериментальном стенде СПбГПУ модельного блока с горизонтально-капсульным агрегатом с рабочим колесом ПЛ-984-35 показал, что с увеличением угла установки лопаток рабочего колеса $\varphi > +10^\circ$ резко снижаются энергетические характеристики работы блока и уменьшается приращение подачи воды. В связи с этим неэффективна работа блока ГЭС в зоне приведенных частот вращения ниже $n'_I = 150$ об/мин. Максимальное значение КПД в турбинном режиме наблюдалось при $\varphi = -5^\circ$ и $\alpha = 110^\circ$ и составило $\eta_{\text{макс}} = 88 \%$. На основании рабочих характеристик была построена универсальная характеристика модельного блока ГЭС с рабочим колесом ПЛ-984-35.



Универсальная характеристика модельного блока ГЭС в турбинном режиме
с рабочим колесом ПЛ-984-35

Библиографический список

- 1.Международный код модельных приемо-сдаточных испытаний гидравлических турбин. Рекомендации МЭК. Публикация 193. Женева, 1965. 54 с. Первое дополнение к публикации 193. Женева, 1974. 21 с.
- 2.Малышев В.М. Моделирование гидравлических машин. Л.: Машиностроение, 1970. 288 с.
- 3.Чистяков А.М. Исследование гидротурбинных блоков ГЭС. Л.: Энергия, 1972. 192 с.
- 4.Энергогидравлические исследования блока насосной станции с капсульными агрегатами в обратимых режимах работы: Отчет о НИР. Л.: ЛПИ, 1986. 73 с.
- 5.Смирнов И.Н. Гидравлические турбины и насосы. М.: Высшая школа, 1969. 400 с.
- 6.Гидроэнергетические установки / Под. ред. Д.С. Щавелева. Л.: Энергоиздат, 1981. 520 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Дёмин Ю.К., Картавцев С.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

E-mail: dyomin.ura@yandex.ru

В настоящее время доказано, что энергия, содержащаяся в сжатом воздухе, является более дорогой, чем электрическая или энергия первичных двигателей, и её экономия важна для удешевления производственных процессов. При этом известно, что при компрессии большая часть энергии затрачивается на сжатие воздуха. Расход энергии пропорционален температуре всаса, поэтому удельные расходы энергии на сжатие больше при более высокой температуре всасываемого воздуха [3]. Поэтому применение ступенчатого сжатия с охлаждением газа в охладителях между ступенями дает большую экономию в энергии, расходуемой на привод компрессора [4].

В качестве воздухоохладителя, в основном, используются кожухотрубчатые теплообменники с оребренной поверхностью, холодильный агент – вода.